

Zum internationalen Stand der Floattechnologie

In meereskundlichen Anfängervorlesungen und im Seepraktikum haben wir gelernt, daß der überwiegende Anteil unserer Kenntnisse über Meeresströmungen auf Schiffsversetzungs- und Driftdaten zurückgeht. Dies mag, historisch gesehen, richtig sein. Das hierbei verwandte Prinzip der Lagrangeschen Messung zur direkten Bestimmung der Meeresströmungen durch Verfolgen eines driftenden Objektes ist längst nicht mehr auf die Oberfläche beschränkt. Seit der Einführung von gewichtsneutralen Driftkörpern durch Swallow im Jahre 1955 ist dieses Meßverfahren für Strömungen im Inneren des Ozeans schubweise weiterentwickelt worden. Als wir im Rahmen des ausgelaufenen SFB 133 mit Floatarbeiten in der Mittelmeerwasserzunge im Frühjahr 1989 begannen, waren die beantragten RAFOS-Floats käuflich nicht erhältlich. Statt dessen konnten wir das freundlichen Angebot von T. Rossby nutzen, seine Floats in Kiel nachzubauen. Inzwischen haben sich die Einsatzsituation und Marktlage für Floats so grundlegend geändert, daß es für einen Neueinsteiger schwierig sein kann, sich unter den Anbietern von Floats mit teils sehr unterschiedlichen Eigenschaften zu orientieren.

Doch zurück zu einem kleinen Rückblick in der Entwicklungsgeschichte von Floats. Die ersten "Swallow-Bojen" bestanden aus benzingefüllten Gerüststangen, an deren Unterseite ein anrufbarer Schallsender hing. Die Ortung der Boje erfolgte durch Hydrophone, die an verschiedenen Stationen von einem Schiff aus zum Einsatz kamen. Meinem verstorbenen Doktorvater Prof. Dietrich schien dieses Verfahren nicht sehr imponiert zu haben, wenn er mehr als einmal etwa verlauten ließ, man benötige ein ganzes Forschungsschiff, um so eine winzige Boje zu verfolgen. Dieses höchst unwirtschaftliche Verfahren wurde deutlich verbessert, als die Technologie in Form der SOFAR-Floats von Stommel und Kollegen an die amerikanische Ostküste übertragen wurde und mit Hilfe von fest installierten militärischen Horcheinrichtungen in der Umgebung von Bermuda zum Einsatz kam. Während des Mid Ocean Dynamics Experiments (MODE) und danach wurden verankerbare Horchstationen als Empfänger der SOFAR-Signale verwendet. Die registrierten Laufzeiten zwischen emittierenden Floats und mehreren, weit verteilten

Autonomous Listening Stations (ALS) ermöglichten bei bekannter Schallgeschwindigkeit und unter Verwendung der Prinzipien der terrestrischen Navigation eine regelmäßige (1 - 3 pro Tag) Standortbestimmung der freitreibenden Floats. Durch Differentiation der erhaltenen Zeitreihen läßt sich die Strömungsgeschwindigkeit am Meßort mit hoher Genauigkeit unter der Annahme errechnen, daß das Float exakt der Meeresströmung im Inneren gefolgt ist.

Eine epochemachende Weiterentwicklung ist T. Rossby und seiner Arbeitsgruppe an der University of Rhode Island Mitte der achtziger Jahre gelungen. Sie drehten das SOFAR-Prinzip mit driftenden Schallquellen und verankerten Empfängern um. Das RAFOS-Prinzip (SOFAR rückwärts geschrieben) verwendet fest verankerte Schallquellen, die auf der Basis der ausgedienten SOFAR-Floats beruhen und deren Signale von treibenden RAFOS-Floats empfangen werden. Der enorme Vorteil lag auf der Hand: Die bis dahin genutzten unhandlichen SOFAR-Floats von über 8 m Länge und > 300 kg Gewicht waren nur von Forschungsschiffen mit Spezialausrüstung handhabbar, während die 12 kg leichten RAFOS-Floats von jedem seetüchtigen Fahrzeug (einschließlich einer Segelyacht) zum Einsatz gebracht werden können. Ist das Feld von Schallgeneratoren einmal verankert, kann es beliebig vielen Empfängern in Form von treibenden RAFOS-Floats zum täglichen Positionsbestimmung unter Wasser dienen. Abb. 1 zeigt als Beispiel die Verteilung der Schallquellen während des Deep Basin Experiment (DBE) innerhalb des World Ocean Circulation Experiment (WOCE) im Südatlantik. Die Verankerungen mit den Schallquellen wurden im internationaler Abstimmung von Brest, Kiel und Woods Hole zwischen 1991 und 1996 unterhalten. Die Datengewinnung aus den Speichern der RAFOS-Floats wird mit dem Abwurf eines Ballastgewichtes nach 1 - 2 Jahren initiiert (Abb. 2). Das Float steigt auf und übermittelt seine Information über das ARGOS-System an das Einsatzlabor an Land. RAFOS-Floats (Abb. 3 links) werden als Einmalgeräte angesehen.

Eine beachtliche Parallelentwicklung mit reduzierten Forderungen bezüglich der zeitlichen Auflösung von Unterwassertrajektorien wurde

von R. Davis und seiner Gruppe in Kalifornien durchgeführt: 1990 kamen die ersten Autonomous Lagrangian Circulation Explorer (ALACE) von Bord der METEOR in der Drakestraße zum Einsatz. Dieser Floattyp unterscheidet sich vom passiven RAFOS-Float dadurch, daß ein aktives Hydrauliksystem das Geräte (Abb. 3 rechts) zyklisch zwischen der Oberfläche und dem Meßhorizont (z.B. 800 m Tiefe) ab- und auftauchen lassen kann und es keine Unterwasserortsbestimmung durchführen kann. Es benutzt also kein Hydrophon für den Empfang von RAFOS-Signalen, die dadurch überflüssig werden. Dieser offensichtliche Vorteil wird durch einen Nachteil erkauft: Man verfügt zur Trajektorienkonstruktion nur über Stützpunkte, die typischerweise 14 Tage auseinander liegen. Das Ergebnis entspricht einer tiefpaßgefilterten RAFOS-Aufzeichnung unter Verlust der kleinskaligen Bewegungsabläufe.

Als "Kreuzung" von RAFOS- und ALACE-Floats könnte man das französische MARVOR-Float (Abb. 3 Mitte)

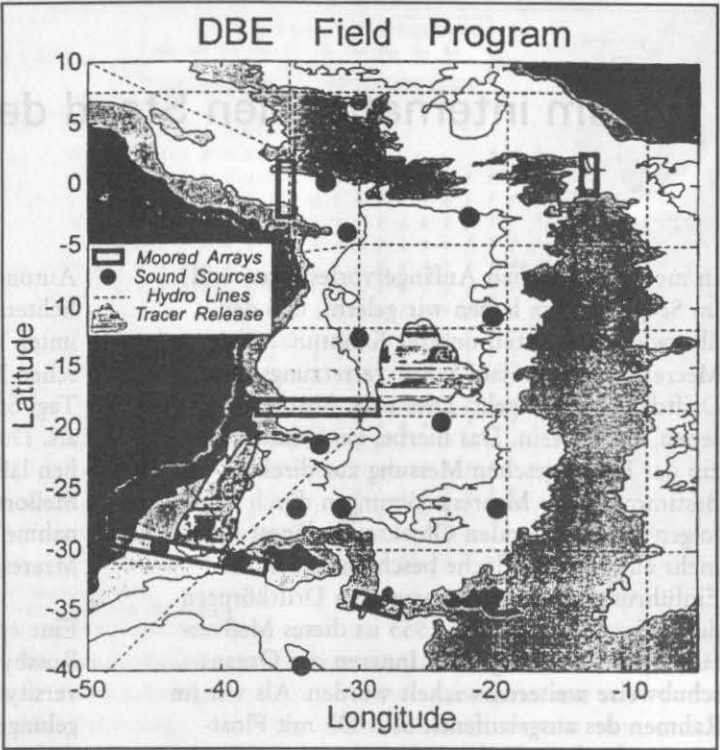


Abb.1: Verteilung von verankerten Schallquellen im Brasilianischen Becken während WOCE. Die Schallquellen senden täglich einen Impuls von 80 s Länge mit geringer Sendeleistung bei einer Frequenz von 260 Hz aus. Die Reichweite der Signale im Schallkanal (SOFAR-Kanal) kann 1000 km deutlich übertreffen (Hogg et al., 1996).

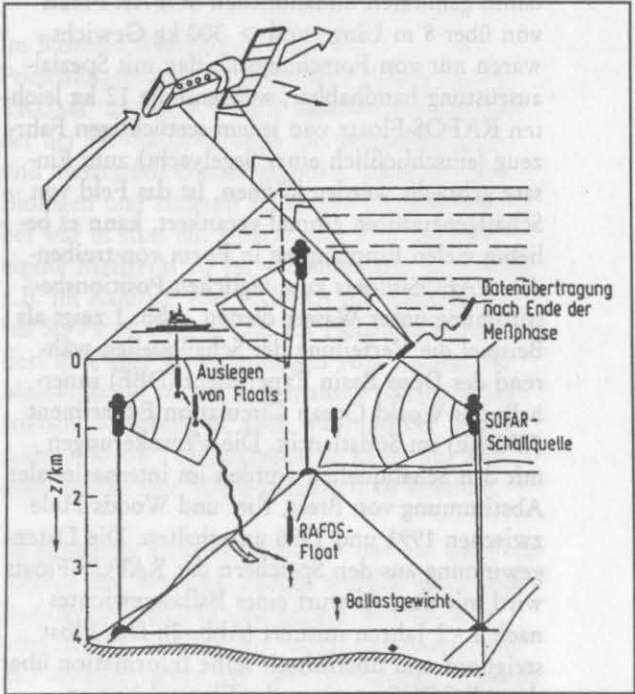


Abb. 2: Prinzip der RAFOS-Technologie. Während des ersten Teils der Floatmission werden die Eintreffzeiten von kodierten RAFOS-Schallquellen intern registriert. Im zweiten Teil der Mission werden die Daten über einen ARGOS-Satelliten abgesetzt, nachdem zuvor ein Ballastgewicht abgeworfen wurde. Die Datenübertragung am Ende der Mission ist nach wenigen Tagen nahezu abgeschlossen (Siedler & Zenk, 1997).

bezeichnen. Es verfügt als aktives Float über die Möglichkeit schon während der laufenden Messung, Teildatensätze per Funk abzusetzen, und es besitzt die hohe raumzeitliche Trajektorienauflösung im Meßhorizont unter Wasser. Eine mit dem ALACE am ehesten vergleichbare Tauchplattform wird zur Zeit unter der Federführung des Kieler Instituts für Angewandte Physik von T. Knutz in Zusammenarbeit mit der Firma 4H-Jena entwickelt und vom BMBF gefördert. Es kann mit einer RAFOS-Empfängereinheit ausgestattet werden. Wie bei vielen technischen Gerätschaften haben sich im Floatbau Sonderformen entwickelt, die z.B. Chlorophyll in einer treibenden Wassermasse messen, zwischen zwei Isothermen zyklisch auf- und abtauchen oder die u.U. zu akustischen Überwachungsaufgaben genutzt werden sollen.

Die bisher im Rahmen von WOCE eingesetzten Floats dürften zahlenmäßig Tausend weit überschreiten. Es existiert ein spezielles WOCE-Datenzentrum für Floatdriftaufzeichnungen unter der Leitung von P. Richardson an der Woods Hole Oceanographic Institution. Kommerzielle Anbieter von Floats gibt es mittlerweile in den USA und Frankreich und künftig auch in Deutschland. Der Float-einsatz ist zum Standardwerkzeug in der

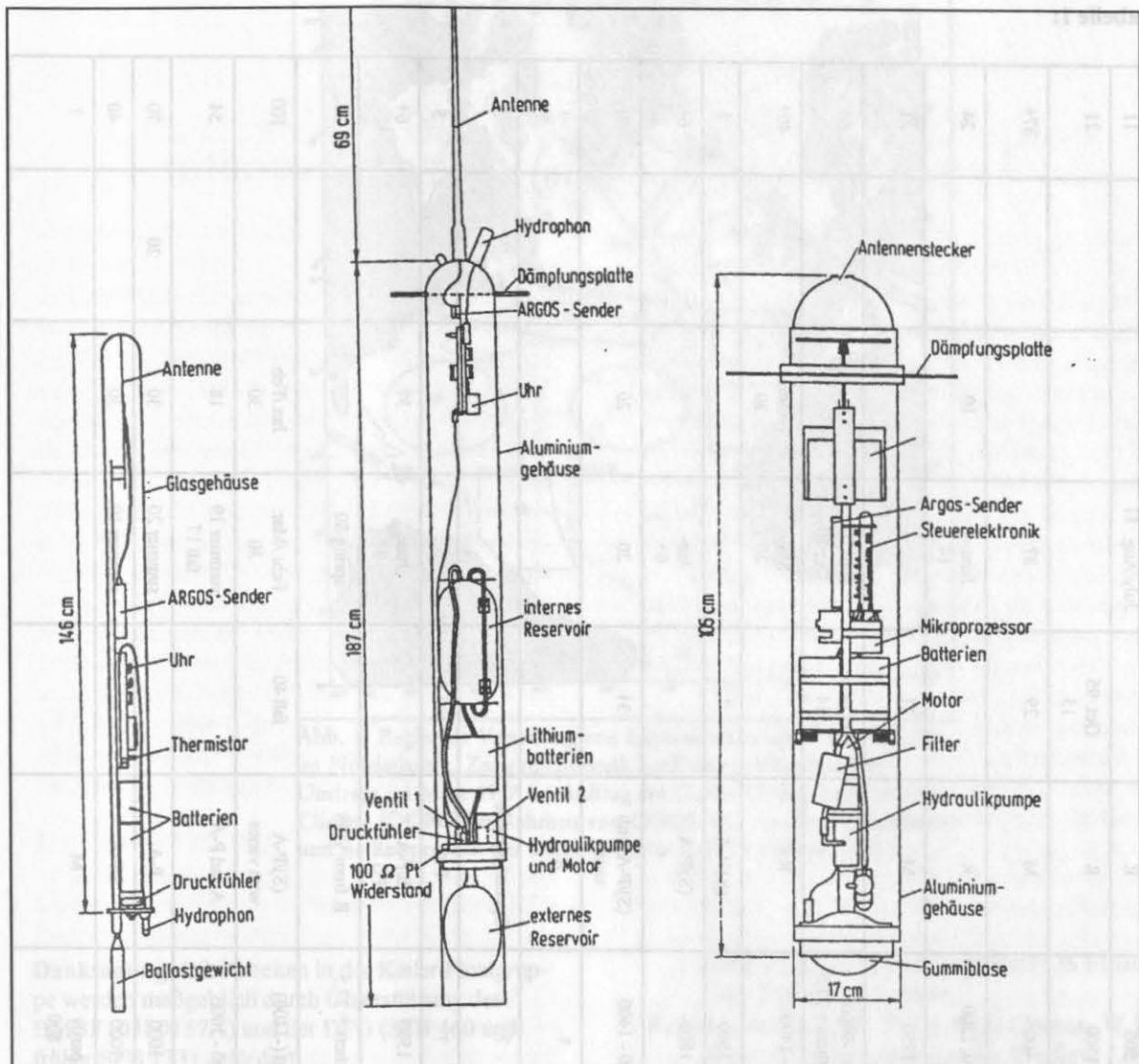


Abb. 3: Gängige Floattypen 1992-1995. Das linke dargestellte RAFOSS-Float wurde am IfM Kiel gebaut und mit Erfolg in der Mittelmeerwasserzunge und im westlichen Südatlantik eingesetzt. Das mittlere MARVOR-Float ist bisher hauptsächlich ebenfalls in Südatlantik zum Einsatz gekommen. Im Gegensatz zu den beiden benötigt das rechte ALACE-Float kein Schallquellenfeld. Während WOCE ist es weltweit mit Schwerpunkt im Pazifik eingesetzt worden (Siedler & Zenk, 1997).

Ozeanographie geworden, der gewiß nicht mehr Aufwand erfordert, als die seit den siebziger Jahren etablierte Meßtechnik mit verankerten Strömungsmessern. Im Gegenteil, der Einsatz von ALACE und RAFOSS-Floats, sofern das Schallquellenfeld installiert ist, wird dem Einsatz von XBT-Sonden immer ähnlicher. Nach dem Start werden die Geräte einfach außenbords versenkt.

Der Einsatz der AFOS-Technik erfordert allerdings bis heute gute Nerven des Experimentators, der sich im Fall von RAFOSS-Floats bis zu zwei Jahren gedulden muß, bis er die ersten Ergebnisse erhält. Aber das kennt man ja von Langzeitstrommessungen mit verankerten Geräten!

das Ergebnis einer Umfrage zu Einsatzplänen für Floats im Nordatlantik während der Auslaufphase von WOCE dargestellt. Das Ergebnis mit mehr als 661 Floateinsätzen zwischen 1996 und 1999 bestätigt die Aussage, daß Strömungsmessungen mit Floats offensichtlich zu einem gut eingeführten Bestandteil der heutigen Ozeanographie geworden sind. Eine Übernahme in angepasster Form in Monitoringaufgaben der operationellen Ozeanographie, etwa im Rahmen des Global Ocean Observing System (GOOS) kann erwartet werden. Eine genauere Bedarfsanalyse steht aus.

Walter Zenk

(Institut für Meereskunde an der Universität Kiel,
Düsternbrooker Weg 20, 24105 Kiel)

Abschließend wird in Tabelle 1 und in Abb. 4

Tabelle 1:

No.	PI / Project	Region/ Coverage	Depth [m]	Float-type	1996 No. of Instr.	1997 No. of Instr.	1998 No. of Instr.	1999 No. of Instr.	Sum
1	Knoll, Cantos / CANIGO	Cabary Basin	500	R		July/Aug. 11			11
2	Zenk, Gould, Speer, Cantos / EUROFLOAT	Cabary Basin	1500	R	Oct. 95 15				21
3	LeCann, Serpette, Speer ARCANE? / French Navy?	Iberian Basin	400	M	29	8?			37+
4	Ambar / CANIGO	Iberian Basin	800, 1200	R		June--> 14	10		24
5	Zenk, Gould, Cantos / EUROFLOAT	Eastern Basin	1750	M	21				21
6 a,b	Richardson, Bower / WOCE, ACCE	NE North Atlantic incl. Eastern boundary	300 -9000 $\sigma_{\theta} = 27,5$	R	Oct./Nov. 14	June 34 Oct 20			68
7	Zenk, Siedler, Mueller / SFB Kiel	Iceland Basin	~ 1400	R		May 20	Summer 20		40+
8	Gould / SOC	Irminger Sea	1500	(S)/P-A	7				7
9	Schott, Send, Rhein / SFB Kiel	Labrador Sea	1500	(S)/P-A		Jan- 6+			6+
10	Davis, Owens / ONR CONV. ARI	Labrador Sea	350 - 1400	(S)/P-A with vanes	31	20	20		71
11	Rossby, Prater / ONR CONV. ARI	Labrador Sea	?	R					?
12	D'Asaro / ONR CONV. ARI	Labrador Sea	?	Special purpose					?
13	Freeland / ?	Labrador Sea	?	P-A	fall 5				5
14	Koltermann, Knutz / WOCE, ACCE	W of MAR, 47 N	1500	S/P-A APG new		June 3?	3?		6+
15	Rossby, Carr, Prater / WOCE	Gyre Exchange N. Atl. Current & 38 W	$\sigma_{\theta} = 27,5$	R from VOS		spring 80			80
16	Davis, Owens / WOCE	N of 40 N 2x2 grid	600 (-1400)	(S)/P-A with vanes	fall 40	Febr./Mar. 30	Jan./Feb. 30		100
17	Leemann, Molinari / ?	S of 40 N (600 km ²)	800 - 1000	A and P-A		summer 19 fall 17	18		54
18	Riser / ?	Sargossa Sea	1000	P-A		summer 20	30	20	70
19	Schmitt / ?	6N-16N (600 km ²)	1000	S/P-A		summer 10	30		40
20	Ollitrault, Schopp, Servain, Vianna, McPhaden / SAMBA, PIRATA	Equator 15 N to 10 S	partly ~ 800	M					?

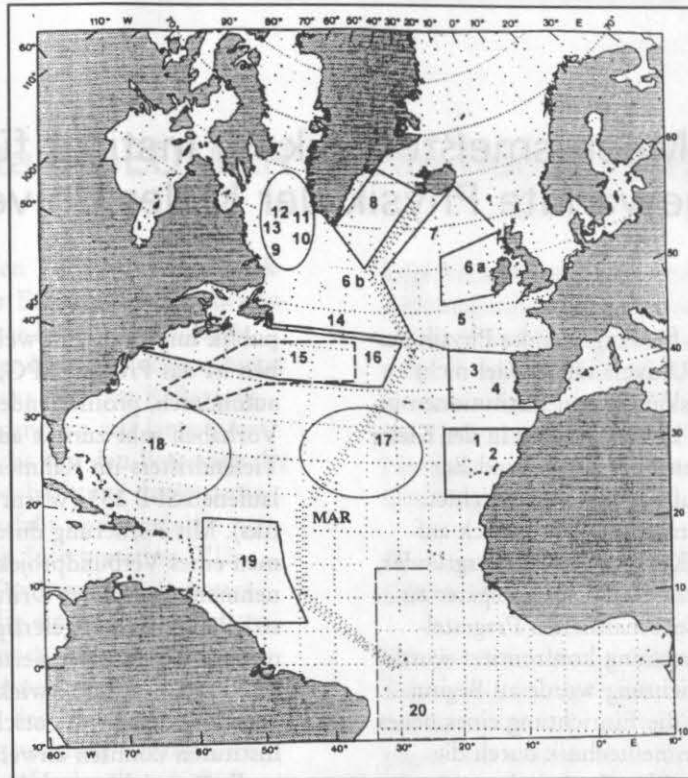


Abb. 4: Regionale Verteilung von Experimenten mit Floats 1996-99 im Nordatlantik. Zusammengestellt nach einer elektronischen Umfrage im März 1997 im Auftrag des Ocean Observing Panel for Climate (OOPC) im Rahmen von GOOS. Die Areale sind numeriert und sie entsprechen der ersten Spalte in Tabelle 1 (Zenk, 1997).

Danksagung: Die Arbeiten in der Kieler Floatgruppe werden maßgeblich durch Unterstützung des BMBF (03F0157A) und der DFG (SFB 460 und früher SFB 133) gefördert.

Literatur zu Beobachtungsverfahren mit Floats und deren Ergebnisse

- Boebel, O., C. Schmid & W. Zenk (1997) Flow and recirculation of Antarctic Intermediate Water across the Rio Grande Rise - *J. Geophys. Res.* (im Druck).
- Davis, R.E., D.C. Webb, L.A. Regier & J. Dufour (1992) The autonomous Lagrangian Circulation Explorer (ALACE) - *J. Atm. Oceanic Techn.*, 9, 264-285.
- Käse, R.H. & W. Zenk (1996) Structure of the Mediterranean Water and meddy characteristics in the northeastern Atlantic. In: W. Krauss (Ed.), *The Warmwatersphere of the North Atlantic Ocean*, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, Ch. 12, 365-395.
- König, H. & W. Zenk (1992) Principles of RAFOS technology at the Institut für Meereskunde Kiel - *Ber. Inst. f. Meereskunde Kiel*, Nr. 222, 99 S.
- Ollitraut, M., G. Loac & C. Dumortier (1994) MARVOR: A Multi-Cycle RAFOS Float. - *Sea Technology*, 5, 39-44.
- Richardson, P.L., J.F. Price, W.B. Owens, W.J. Schmitz, H.T. Rossby, A.M. Bradley, J.R. Valdes & D.C. Webb (1981) North Atlantic Subtropical Gyre: SOFAR floats tracked by moored listening stations - *Science*, 213, 435-437.
- Rossby, T., D. Dorson & J. Fontaine (1986) The RAFOS System - *J. Atm. Oceanic Techn.*, 3, 672-679.
- Rossby, T., J. Price. & D. Webb (1986): The spatial and temporal evolution of a cluster of SOFAR floats in the POLYMODE local dynamics experiment (LDE) - *J. Phys. Oceanogr.*, 16, 428-442.
- Siedler, G. & W. Zenk (1997) Physikalische Ozeanographie. In: Bergmann-Schaefer, *Lehrbuch der Experimentalphysik*, Band 7, Erde und Weltraum, Geophysik, Astrophysik, Kosmologie, Kapitel 2, 53-129 (im Druck).
- Swallow, J.C. (1955) A neutral-buoyancy float for measuring deep currents - *Deep-Sea Res.*, 3, 74-81.
- Zenk, W. (1997) North Atlantic anticipates biggest float fleet ever - *WOCE Newsletter* (eingereicht).